

ENERGYPLUS SIMULATION MODEL OF A ZONING REGULATION SYSTEM INTEGRATED WITH AN UNITARY DUCTED AIR-TO-AIR HEAT PUMP

Antonio Carrillo Andrés*(1), José Manuel Sojo Gordillo (1), Samuel Guarino Molina (1), José Manuel Cejudo López (1), Fernando Domínguez Muñoz (1), Francisco Fernández Hernández (2), Jose Miguel Peña Suárez (2)

1: Grupo de Energética. Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga, Calle Arquitecto Peñalosa sn.29071, España
e-mail: acarrillo@uma.es

2: Corporación Altra, Málaga, 29590, España
email: jmpena@altracorporacion.es

Abstract: *In many buildings there is a variety of zones with different users and thermal load profiles. Zoned HVAC systems provides the ability to manage the heating or cooling of individual rooms by use, to adjust individual room temperatures for individual preferences, or to close the airflow in rarely-used rooms. Nowadays, the main manufacturers of low and medium capacity unitary air-to-air ducted heat pumps provide an increased number of fan speeds. This offers an opportunity to develop zoning regulation systems based on a communication gateway, that provides a closer integration of the mentioned zoning system with the heat pump, controlling aspects such as switching on and off, operating mode, fan speed, setpoint temperature, etc. This paper presents the development of a new computational model to simulate these systems with the EnergyPlus program.*

Keywords: Air Conditioning, Zoning, Simulation, EnergyPlus

MODELO DE SIMULACIÓN PARA ENERGYPLUS DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN TODO AIRE ZONIFICADOS CON PASARELA DE INTEGRACIÓN

Antonio Carrillo Andrés*(1), José Manuel Sojo Gordillo (1), Samuel Guarino Molina (1), José Manuel Cejudo López (1), Fernando Domínguez Muñoz (1), Francisco Fernández Hernández (2), Jose Miguel Peña Suárez (2)

1: Grupo de Energética. Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga, Calle Arquitecto Peñalosa sn.29071, España
e-mail: acarrillo@uma.es

2: Corporación Altra, Málaga, 29590, España
email: jmpena@altracorporacion.es

Resumen: *En los edificios se pueden distinguir una variedad de zonas con diferentes patrones de utilización y perfiles de cargas térmicas. Los sistemas de climatización zonificados permiten adaptarse a las diferentes demandas térmicas de cada espacio y no climatizar aquellos que no estén siendo utilizados. Recientemente, con el aumento de la disponibilidad de velocidades de ventilador de los principales fabricantes de unidades de expansión directa de pequeña y mediana potencia para conductos, se han desarrollado sistemas que se basan en lo que se denomina una “pasarela de comunicación”, que permite una mayor integración del sistema de zonas con el equipo de climatización, controlando aspectos tales como el encendido y apagado, modo de funcionamiento, velocidad del ventilador, temperatura de consigna del equipo, etc. Este trabajo presenta el desarrollo de un nuevo modelo computacional que integra estos sistemas en el programa de simulación energética EnergyPlus.*

Palabras clave: Climatización, Zonificación, Simulación, EnergyPlus

1. INTRODUCCIÓN

En los edificios se pueden distinguir zonas con diferentes patrones de utilización y perfiles de carga térmica. Los sistemas de climatización zonificados permiten adaptarse a estas variaciones y no climatizar espacios que no estén siendo utilizados. Por el contrario, en los sistemas no zonificados el control se hace tomando como referencia una única zona que se considere representativa, con lo que es común que en las otras zonas se tengan situaciones de subenfriamiento o sobrecalentamiento, lo que lleva aparejado disconfort y frecuentemente un aumento del consumo energético. En el caso de los sistemas centralizados con red de conductos de aire se pueden distinguir dos variantes básicas:

- a) VAV (Variable Air Volume): En estos sistemas se tiene una unidad climatizadora que impulsa a temperatura constante. La adaptación a la demanda de cada zona se hace modulando el caudal que se impulsa mediante cajas de caudal variable situadas en cada zona. En el punto más alejado de la red de conductos se dispone de una sonda de presión estática. Al producirse el cierre de las compuertas de zona, aumenta la presión estática en la red, esto se detecta por el control que manda reducir el caudal impulsado por el ventilador para mantener la presión estática lo más constante posible. El caudal del ventilador se puede regular de diferentes modos siendo lo más común la variación de la velocidad de giro, ya que tiene el beneficio de reducir el consumo del ventilador proporcionalmente a la tercera potencia del caudal impulsado.
- b) CAV (Constant Air Volume): Los sistemas de caudal constante son más económicos que los VAV pero tienen el problema de la falta de zonificación, ya que su regulación se hace modificando la temperatura de impulsión común y no pueden adaptarse a las demandas específicas de cada zona.

Existe un tipo de sistemas a medio camino entre los VAV y los CAV, que a veces se denominan “falso caudal variable”. El tipo más conocido es el sistema zonificado de caudal de aire constante con bypass, ver Figura 2. Se zonifica mediante compuertas motorizadas en cada zona. Cuando algunas zonas no tienen demanda, se cierra su compuerta motorizada. El exceso de caudal impulsado por el ventilador que no han requerido las

zonas se retorna a la aspiración del ventilador mediante un bypass. Estos sistemas no consiguen la disminución del consumo de energía en el ventilador característico de los VAV pero aprovechan el factor de simultaneidad de la carga y permiten máquinas de menor potencia, todo ello a un menor coste que un sistema VAV. Tienen como inconveniente una reducción del rendimiento de producción, dado que el aire retorna en condiciones más desfavorables por el efecto del bypass. Además, el comportamiento del bypass no es ideal y no es capaz de evacuar todo el exceso de caudal, lo que lleva a sobrepresiones en la red y aumentos de velocidad de impulsión en las zonas abiertas que, en ocasiones, son excesivos.

Recientemente, con el aumento de la disponibilidad de velocidades de ventilador de los principales fabricantes de unidades de expansión directa de pequeña y mediana potencia para conductos, se han desarrollado sistemas que se basan en lo que se denomina una “pasarela de comunicación”. Esto permite una mayor integración del sistema de zonas con el equipo de climatización, controlando varios aspectos de funcionamiento tales como: encendido y apagado, modo de funcionamiento, velocidad del ventilador y temperatura de consigna del equipo. Este tipo de sistemas modifican el comportamiento de un CAV clásico, aproximando el comportamiento de un VAV a un coste mucho más reducido, permitiendo en muchas ocasiones prescindir del bypass y de los inconvenientes que genera. Sin embargo, el número de velocidades del ventilador no es tan elevado como para poder adaptarse perfectamente a todas las situaciones, así que siguen teniendo situaciones de sobrepresión en la red (aunque en menor medida que en el caso de los sistemas con bypass). Actualmente estos sistemas, que en los sucesos serán nombrados como sistemas “zonificados con integración”, gozan de interés por parte de la industria.

La Corporación Altra es conocida en el mercado de la climatización por su sistema de zonas Airzone, que es un sistema zonificado con integración, tal y como se ha descrito. En colaboración con el Grupo de Energética de la Universidad de Málaga se plantea el interés en disponer de herramientas de simulación de libre acceso y de implantación internacional, que permitan evaluar el desempeño energético de los sistemas zonificados con integración en general y en particular Airzone. Por añadidura, es conveniente que los modelos de simulación sean accesibles y de código abierto, de forma que puedan ser verificados independientemente y se favorezca la realimentación por parte de clientes y usuarios. En este sentido EnergyPlus [1] es un conocido programa informático de simulación energética que tiene una amplia implantación internacional como herramienta para justificar el desempeño energético de edificios y sistemas, siendo utilizada a todos los niveles, tanto profesional como de investigación. El acceso a EnergyPlus es libre y gratuito y su código fuente es abierto. Un número creciente de aplicaciones de software profesional incorporan EnergyPlus como motor de simulación. El catálogo de sistemas HVAC implementados es amplio, sin embargo, no hay ninguno que se ajuste adecuadamente a las características de los sistemas Airzone.

Esta comunicación presenta un nuevo modelo para el programa EnergyPlus, que permite la simulación energética de los sistemas todo aire zonificados con pasarela de integración Airzone.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

2.1 Implementación y flujo de trabajo general

Los sistemas Airzone con integración se pueden considerar básicamente como un sistema de control alternativo. Ninguno de los sistemas HVAC contemplados en la versión estándar de EnergyPlus 8.8 se ajusta suficientemente a las características de los sistemas Airzone. Por lo tanto era necesario desarrollar un nuevo modelo. Hay dos formas de hacerlo, cada una con sus ventajas e inconvenientes. La primera consiste en introducir el modelo en el código fuente de EnergyPlus. Esto proporciona la máxima velocidad de ejecución, pero obliga a recompilar el código fuente, lo que no está al alcance de la mayoría de usuarios. Por otra parte, sería posible introducir el nuevo modelo en la versión estándar de EnergyPlus, que se lanza aproximadamente cada seis meses, pero la incorporación de nuevas funcionalidades o mejoras tendría como mínimo estos plazos. La segunda opción es utilizar la funcionalidad denominada EMS (Energy Management System) que permite introducir algoritmos de control propios a través del lenguaje de programación simplificado ERL (Energy Plus Runtime Language), modificando el comportamiento estándar de EnergyPlus. Con EMS se tiene mucha flexibilidad para introducir cambios sin necesidad de recompilar el código fuente de EnergyPlus o esperar al lanzamiento de una nueva versión. Otra ventaja es que un usuario normal puede comprobar por sí mismo el código EMS dentro del fichero IDF que se utiliza como entrada para la simulación. Como desventaja cabe citar la menor velocidad de ejecución y el hecho de que el lenguaje ERL es limitado. En este caso se ha optado por desarrollar el modelo en EMS. Para ello se ha creado una aplicación independiente que genera el código

EMS apropiado a partir de las especificaciones del sistema, que se ha denominado AirzoneEP. Las especificaciones del sistema se introducen a través de un fichero simple en formato CSV. Tanto este fichero CSV como el propio IDF estándar de EnergyPlus pueden ser creados por una interfaz gráfica de usuario (EPGUI en la Figura 1) o directamente de forma manual. El código EMS modifica la forma estándar de operar del sistema “Ideal Loads” de EnergyPlus para simular un sistema Airzone.

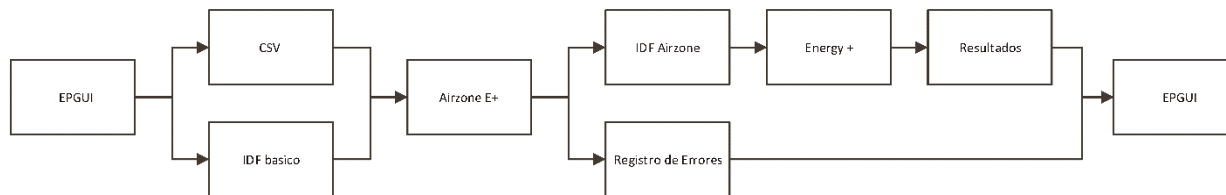


Figura 1. Esquema del flujo de trabajo con AirzoneEP.

Se utiliza la hipótesis habitual de asumir que el sistema es cuasiestacionario. Con el objetivo de seguir los cambios de estado de la red aerúlica según las zonas van abriendo o cerrando, se utiliza un paso de tiempo de 5 minutos, que es similar al empleado en el sistema de control real para actualizar su estado. Dentro del flujo de operaciones de EnergyPlus hay varios puntos donde se puede llamar a un programa EMS. En este caso se utiliza el denominado “AfterPredictorAfterHVACManagers” que corresponde a un punto donde se tiene disponible una predicción de la carga sensible ideal de cada zona (AfterPredictor) y se conoce qué sistemas están activos (AfterHVACManagers). Los pasos son los siguientes:

- 1) Para cada paso de tiempo, el modelo Ideal Loads de EnergyPlus comienza con una estimación la energía que se requiere para equilibrar la temperatura de la zona con la temperatura de consigna deseada. Esto es la carga sensible ideal de cada zona.
- 2) A partir del dato de la carga sensible ideal, el código EMS determina el modo del equipo (calor-frío), qué zonas están en demanda y cuál es la demanda total sensible sobre el equipo central.
- 3) Con el estado de zonas en demanda se determina el estado de la red aeraúlica: selección de la velocidad del ventilador (§2.2) mediante algoritmo “Q-Adapt”, caudal por cada zona (§2.3), caudal por bypass (§2.4), caudal total del ventilador y diferencia de presión y se hace un balance para calcular el retorno al equipo.
- 4) Se calcula la capacidad real de calefacción/refrigeración del equipo, a partir de la capacidad nominal en condiciones Eurovent, aplicando una serie de correctores (§2.5) en función de las condiciones de trabajo. Se compara la capacidad con la demanda y se corrige esta última en caso necesario.
- 5) Se calcula la temperatura de impulsión a partir de los caudales y demanda, simulando la operación de un algoritmo “Efi-Adapt” (§2.6). Se impone esta temperatura de impulsión al modelo Ideal Loads de EnergyPlus.
- 6) Se calcula la humedad de impulsión a partir de las capacidades sensible y total, y se impone esta humedad de impulsión al modelo Ideal Loads de EnergyPlus.
- 7) Se calculan los consumos eléctricos del equipo (compresor y ventilador), (§2.5).
- 8) EnergyPlus continúa simulando la evolución de la zona en el paso de tiempo, con los caudales, temperatura y humedad de impulsión impuestos en el modelo Ideal Loads.

2.2 Selección de la velocidad del ventilador mediante algoritmo Q-Adapt

En los sistemas Airzone, la selección de la velocidad del ventilador de la unidad climatizadora interior se hace a través de un algoritmo de control denominado Q-Adapt. Cada zona que se sirve tiene asignado un peso P_z . Este es un número entero entre 1 (menor prioridad) y 4 (mayor prioridad). El algoritmo Q-Adapt calcula en cada momento un parámetro entre 0 y 100 a partir del número de zonas en demanda, según la ecuación (1) :

$$Peso_{demanda} = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{N_{z,demanda}} P_{zi}}{\sum_{i=1}^{N_z} P_{zi}} \quad (1)$$

La velocidad del ventilador se asigna de forma proporcional por tramos al valor de este parámetro. Por ejemplo, para un ventilador con 4 velocidades, se asignan los siguientes intervalos a cada velocidad: vel 1: (0,25], vel 2: (25,50], vel 3: (50,75] y vel 4: (75,100]. El algoritmo Q-Adapt dispone de 5 modos de funcionamiento según

se priorice el silencio o la efectividad. La ecuación (1) corresponde al modo estándar. Para otros modos se aplica una ecuación diferente. AirzoneEP implementa este control mediante el pre cálculo de la velocidad de ventilador que corresponde a cada una de las posibles $2^{N_{\text{zonas}}}$ combinaciones de apertura y cierre de zonas, para cada uno de los cinco modos de Q-Adapt. Estos valores se almacenan en una tabla a la que se accede posteriormente desde EMS en tiempo de simulación.

2.3 Cálculo del balance aeráulico de la red de conductos

En los sistemas Airzone, el equilibrio aeráulico de la red de conductos es cambiante dependiendo de la situación de apertura / cierre de zonas. Con el objetivo de no requerir del usuario un excesivo número de detalles, AirzoneEP utiliza un modelo simplificado de la red de conductos, ver Figura 2. Se asume que, tras el ventilador, la red se divide en tantas ramas como zonas existentes. Además, la pérdida de carga asociada a cada rama i del circuito aeráulico es proporcional al cuadrado del caudal de aire que circula por esa rama.

$$\Delta P_i = k_i \cdot Q_i^2 \quad (2)$$

Los coeficientes k_i de cada rama se calculan asumiendo caudal nominal de diseño para todas las zonas, ecuación (3), y velocidad máxima del ventilador nv_{max} . De esa forma, el salto de presión nominal del ventilador se puede calcular a través de su curva característica "P-Q_{tot}" para el caudal total de impulsión, ecuación (4). Se asume que los coeficientes k_i no varían a lo largo de la simulación.

$$k_i = \Delta P_{\text{vent,nominal}} / Q_{i,\text{nominal}}^2 \quad (3)$$

$$\Delta P_{\text{vent,nominal}} = f_{\Delta P_{Q_{\text{vent}}}}(Q_{\text{tot}}, nv_{\text{max}}) \quad (4)$$

Cuando, en tiempo de simulación, una o más zonas dejan de tener demanda y sus compuertas se cierran, la curva característica "P_e-Q_{tot}" global de la red de conductos se modifica. El algoritmo Q-Adapt procede a ajustar la velocidad del ventilador, tal y como se describe en el apartado anterior. Se llegará así a un equilibrio entre la mencionada curva "P_e-Q_{tot}" de la red de conductos y la curva del ventilador a la velocidad seleccionada. Generalmente este punto de equilibrio va a suponer un caudal circulante por las zonas abiertas diferente al de condiciones nominales. AirzoneEP resuelve el sistema de ecuaciones (5) y pre calcula el caudal circulante por cada zona para cada una de las posibles combinaciones de apertura y cierre de zonas, y para cada velocidad del ventilador. Esta información se almacena en una serie de tablas a las que se accede desde EMS en tiempo de simulación, ver Tabla 1. En caso de que el bypass esté presente, se modela con una curva característica especial que se expone en la sección 2.4.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{zonas}}} Q_i [L_i > 0] + Q_{\text{bypass}} \\ Q_i = \sqrt{\frac{\Delta P}{k_i}} \\ Q_{\text{bypass}} = f_{\text{bypass}}(\Delta P) \\ \Delta P = f_{\Delta P_{Q_{\text{vent}}}}(Q_{\text{tot}}, nv) \end{array} \right. \quad (5)$$

Tabla 1. Ejemplo de pre cálculo de caudales para red de tres zonas sin bypass, para una velocidad determinada de ventilador. El caso de diseño, con todas las zonas abiertas, está sombreado.

Apertura /cierre de zonas			Índice Caso	Caudal por zona (m ³ /s)		
Zona 3	Zona 2	Zona 1		Q1	Q2	Q3
0	0	0	0	0.000	0.000	0.000
0	0	1	1	0.000	0.000	0.613
0	1	0	2	0.000	0.325	0.000
0	1	1	3	0.000	0.269	0.539
1	0	0	4	0.160	0.000	0.000
1	0	1	5	0.144	0.000	0.578
1	1	0	6	0.160	0.320	0.000
1	1	1	7	0.125	0.250	0.500

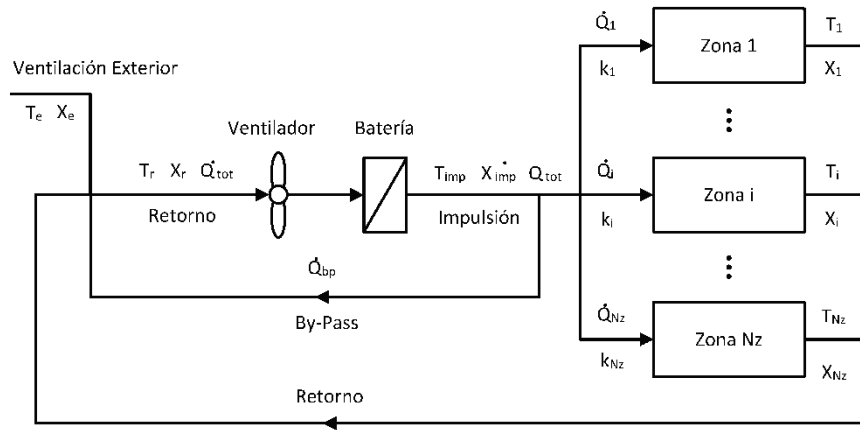


Figura 2. Esquema de la red aerúlica.

2.4 Modelado del bypass

En casos de equipos de grandes caudales y pocas velocidades de ventilador disponibles, puede ser conveniente la instalación de un bypass como elemento de seguridad que evite sobrepresiones excesivas en la red de conductos. AirzoneEP contempla la opción de un bypass de tipo mecánico. Si la diferencia de presión entre el plenum de impulsión y el retorno se eleva por encima de cierto umbral, se produce la apertura de la compuerta de sobrepresión. De esta forma se deja pasar cierta cantidad de aire desde el plenum de impulsión al retorno de la unidad interior. Se dispone de datos de ensayo de un modelo particular de bypass, ver Figura 3. Por otra parte, estos dispositivos tienen un contrapeso regulable que permite ajustar su funcionamiento en el momento de la instalación. Dada la limitada información disponible por parte del usuario, se asume que el bypass debe estar bien dimensionado y ajustado, con lo que debe cumplirse que:

- Con todas las zonas abiertas y el ventilador en velocidad alta el bypass debe estar cerrado. Se asume que empieza a abrirse cuando la presión estática sube por encima de esta situación.
- Con la velocidad baja y sólo la zona más desfavorable abierta (la que, en caso de no haber bypass tendría el máximo caudal en esta situación), el bypass debe derivar el suficiente caudal como para que la velocidad en la terminal de la zona no supere un nivel máximo. Es decir, el caudal no puede superar un cierto valor límite, que debe ser proporcionado por el usuario de la aplicación, que lo ha debido obtener previamente del dimensionado de la red de conductos. En caso de no disponer de este valor límite, AirzoneEP asume un valor por defecto de 1.3 veces el caudal nominal de la zona.
- Se asume que la forma de la curva característica será similar en cualquier medida a la disponible para el bypass caracterizado, Figura 3. Se normaliza la curva a través de la ecuación (6), para poder generalizarla.

$$Q_{bypass} = f_{bypass}(\Delta P) = \begin{cases} Q_1 \left(a \times \left(\frac{\Delta P - \Delta P_0}{\Delta P_1 - \Delta P_0} \right)^2 + b \times \left(\frac{\Delta P - \Delta P_0}{\Delta P_1 - \Delta P_0} \right) \right) & \text{si } \Delta P > \Delta P_0 \\ 0 & \text{si } \Delta P \leq \Delta P_0 \end{cases} \quad (6)$$

- ΔP_0 es a la diferencia de presión estática entre plenum de impulsión y retorno, en la situación con todas las zonas abiertas, que se puede calcular con el caudal de diseño total y la curva característica del ventilador en velocidad alta.
- Q_1 es el caudal que debe derivar el bypass en la situación en la que se tiene abierta únicamente la zona de menor caudal nominal, con velocidad de ventilador baja. El caudal impulsado a la zona abierta no debe superar cierto caudal máximo. Conocido el coeficiente k_i de la zona abierta y la curva del ventilador, se calcula el caudal hipotético que circularía por la zona abierta si no existiese bypass. El exceso de este caudal respecto al caudal máximo es Q_1 , el caudal tiene que circular por el bypass.
- ΔP_1 es la diferencia de presión estática entre plenum de impulsión y retorno calculada a partir del caudal máximo de la única zona abierta, y usando la curva resistente de dicha zona.
- Se asume que los coeficientes a y b son constantes e iguales a los del bypass caracterizado experimentalmente por ALTRA, Figura 3. En el caso de este bypass: $\Delta P_0 = 32.5 \text{ Pa}$, $\Delta P_1 = 80 \text{ Pa}$, $Q_1 = 4.71 \text{ m}^3/\text{min}$, y los coeficientes de la ecuación normalizada son: $a = 0.7708$ y $b = 0.2291$.

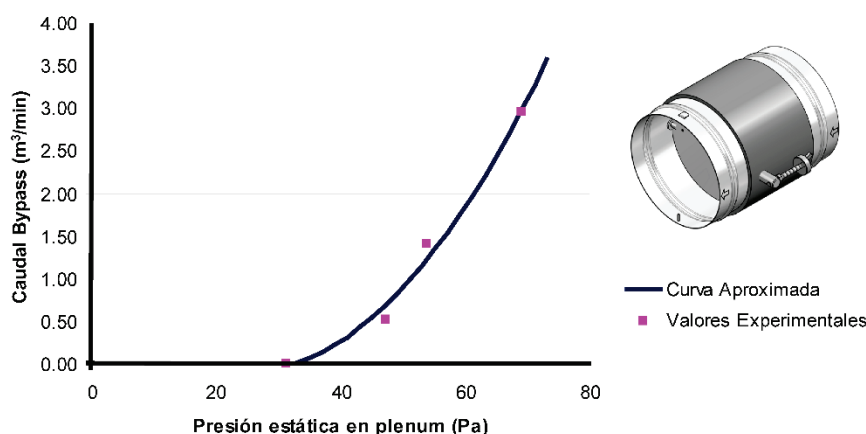


Figura 3. Curva característica del bypass mecánico D=200mm suministrada por ALTRA.

Estos coeficientes normalizados a y b se usarán, junto con los parámetros P_0 , Q_1 , y P_1 , particularizados para cada nueva instalación, para obtener una ecuación característica del bypass (6) que se incluirá en el sistema de ecuaciones (5), que hay que resolver para cada combinación de apertura de zonas.

2.5 Capacidad y consumo eléctrico del equipo.

En una primera versión, orientada a España, y con el objetivo de mantener cierta consistencia con las herramientas oficiales de calificación energética de edificios, se emplean las expresiones recogidas en el documento de condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER [2] para equipos de expansión directa aire-aire bomba de calor. Estas expresiones corrigen la capacidad nominal (condiciones Eurovent) en función de las temperaturas exterior e interior, seca y húmeda, según el caso. En el caso de refrigeración se distinguen la capacidad sensible y total. Con la capacidad sensible corregida y la demanda sensible sobre el equipo se puede calcular el factor de carga parcial. Dependiendo del tipo de equipo, se aplica un procedimiento diferente para obtener un corrector del consumo nominal por carga parcial: el recogido en [2] para “Todo/Nada” y el recogido en [3] en el caso de “Inverter”. A la corrección por carga parcial se le suma la corrección de consumo nominal por temperaturas de trabajo diferentes a las de Eurovent.

2.6 Selección de la temperatura de impulsión

En los sistemas Airzone se tiene un algoritmo denominado “Efi-Adapt” que, una vez establecidos los caudales, detecta si en alguna zona la temperatura del aire no está evolucionando correctamente hacia su consigna. En ese caso actúa sobre la consigna del equipo, con el fin de modificar la temperatura de impulsión, de una forma similar a un CAV clásico. En AirzoneEP se asume que el resultado de la actuación de Efi-Adapt es una temperatura de impulsión ajustada para la zona más desfavorable. Es decir, la zona que requiera la temperatura de impulsión más extrema en cada momento. Obviamente, se respetan unos límites mínimo y máximo de la temperatura de impulsión. Además de que en ningún caso se puede superar la capacidad del equipo.

3. CASO DE PRUEBA

Con el fin de ilustrar el funcionamiento del modelo se presenta un análisis preliminar de un caso de prueba. Se trata de un caso con tres zonas a las que se impone un perfil de carga interna convectiva forzada con el fin de verificar el correcto funcionamiento del modelo. En la Figura 4 se ha dividido un periodo de 24 horas en 12 segmentos, cada segmento impone una situación. En el primer tramo 0-2h, se tiene carga nula en las zonas. Todas las compuestas de zona están cerradas (OFF). En el tramo 2-4h, se impone la carga de diseño de 5000W en la zona 1 (Z1). La compuerta se abre, el algoritmo Q-Adapt selecciona la velocidad 2 de las 5 disponibles. Esto fija un caudal másico y Efi-Adapt fija la temperatura de impulsión adecuada: la temperatura de Z1 se ajusta a la consigna de 25 °C. Sucesivamente, en los tramos 4-6h y 6-8h se añaden las cargas de diseño de la Z2 (2500W) y Z3 (1250W). El sistema responde aumentando en cada caso la velocidad de ventilador. Destacar como en el tramo 6-8h el sistema no tiene suficiente capacidad como para combatir la carga de las tres zonas, así que sus temperaturas suben por encima de la consigna. Los siguientes tramos 8-16h, ensayan diferentes combinaciones de zonas en demanda, siempre con carga de diseño para cada una de ellas. El tramo 16-18h impone una carga parcial en Z1 (2500W). Al tener todas las zonas abiertas, el algoritmo Q-Adapt selecciona la velocidad 5. Por otra parte, la temperatura de impulsión viene condicionada por las necesidades de las otras

dos zonas que están con su carga de diseño. Esta resulta ser demasiado baja para ajustarse a la situación de carga parcial de Z1, con lo que la temperatura de la dicha zona empieza a descender hasta que, en un momento dado, el modelo deja de detectar demanda para el siguiente paso de tiempo. Así, la compuerta Z1 cierra, quedando Z2 y Z3 abiertas con velocidad 4 en el ventilador. Sin caudal, la Z1 va elevando su temperatura hasta que el modelo detecta demanda de nuevo, abre la compuerta Z1 y se pasa a la velocidad 5. Se comienza así un nuevo ciclo. Se tiene, por tanto, una dinámica oscilante que se repite en menor medida en los tramos siguientes que ensayan situaciones de carga parcial con las otras zonas que tienen menos peso en el reparto de caudales.

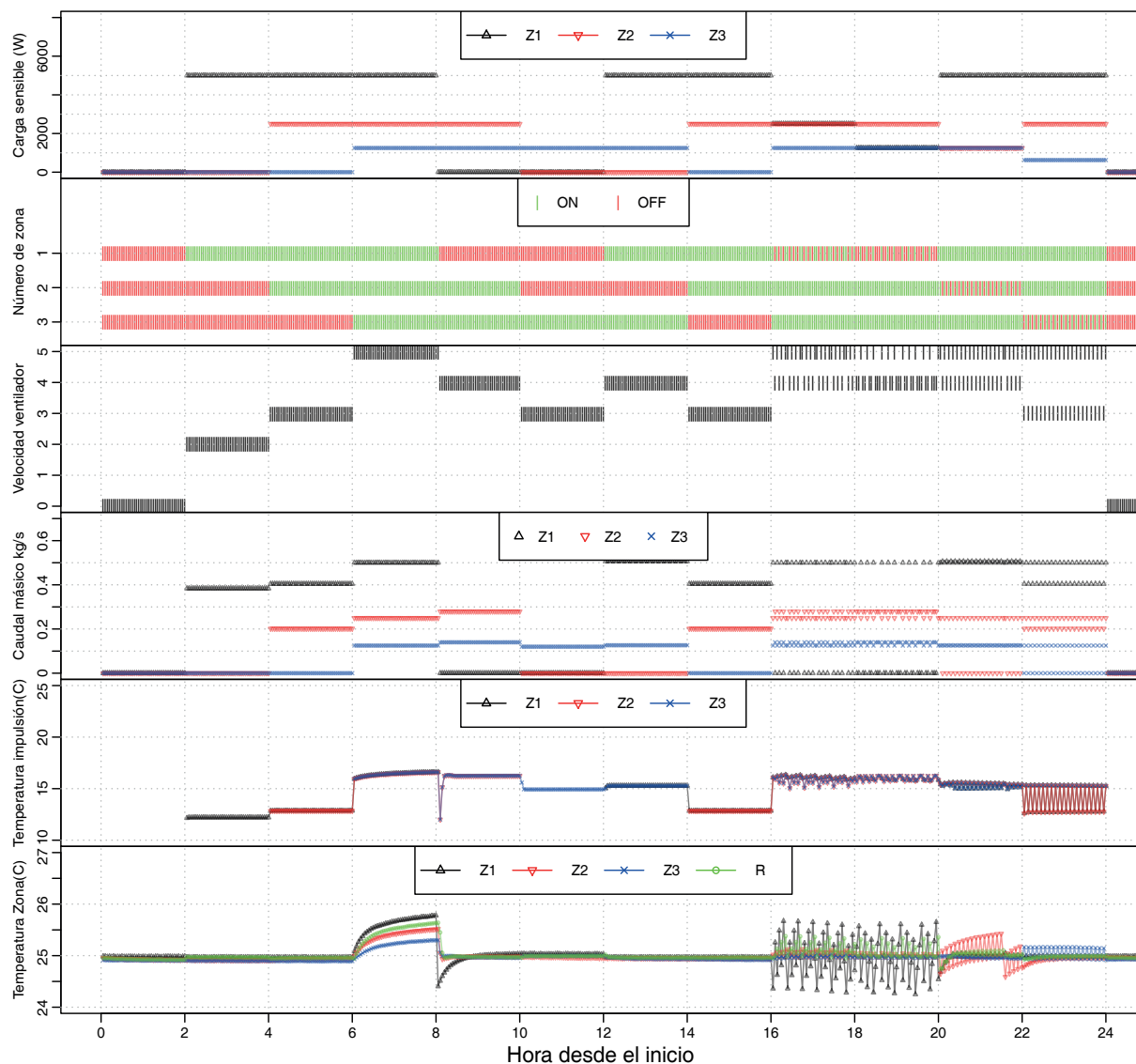


Figura 4. Ejemplo de operación con un caso de prueba.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un nuevo modelo que integra la simulación de los sistemas Airzone en el programa EnergyPlus. Este modelo estará disponible para el público en general y podrá ser usado como herramienta para evaluar el desempeño energético de estos sistemas, tanto en el sector profesional como en el académico.

REFERENCIAS

- [1] U.S. Department of Energy, ENERGY PLUS simulation program v8.8, (2017). <https://energyplus.net/>.
- [2] IDAE, Calificación de Eficiencia Energética de Edificios. Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER, (2009).
- [3] ALTRA-GEUMA-COSTIC, Innovative Regulator For Inverter Ducted Single-Split Assessment Through Modelling. Informe técnico AZ-TR-120308., (2012) 1-37.